doi:10.13866/j.azr.2019.03.15

2017 年与 2014 年西安极端高温天气及其环流特征对比分析[①]

李 博[1,2], 陈 婷[1], 王 楠[3], 华灯鑫[1], 王 乾[1]

(1. 西安理工大学机械与精密仪器工程学院,陕西 西安 710048;
2. 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室,北京 100081; 3. 陕西省气象台,陕西 西安 710016)

摘 要:借助观测资料与 FNL 全球分析资料,对比研究 2017 年与 2014 年西安高温天气基本特征与有利环流形势,结果表明:① 2 a 西安均发生了 40 ℃以上的长时间持续高温天气,其中 2014 年属于常规高温年份,而 2017 年西安高温则提前 1 个月发生,高温的提前发生主要是因为南亚高压强于正常年份同期强度;② 不同于我国南方地区的闷湿高温,西安高温属于干性高温,且昼夜温差较小,由此造成 24 h 对人体的不适;③ 详细描述了西安高温发生的典型环流特征,即南亚高压与西太平洋副热带高压(简称副高)同时增强,并在对流层中高层相互贯通;④ 南亚高压是影响我国西北地区的主要热源基地,在较大经向度的有利环流背景下,强风速可将热气团向南向东深度输送至下游地区(即西安);⑤ 在"上辐合、下辐散"的散度场配置下,西安 500 hPa 以下高空维持明显的下沉气流,加之有利的局部要素相配合,最终造成该地区高温天气的发生。

关键词:极端高温; 环流特征; 南亚高压; 西太平洋副热带高压; 西安

高温会造成严重干旱,由此制约农作物生长,而且高温还会给人们日常生活以及工业生产等方面带来极大不便[1-6]。特别是西北地区,多沙地丘陵、且日照时间充足,因此,更易形成高温天气[7-8]。据统计[9-12],近年来我国西北地区极端高温事件发生频次呈显著增加趋势,其中新疆大部、甘肃中北部、陇东南、宁夏北部,以及陕西大部均是年极端高温事件发生频次异常的空间分布关键区,这些地方的平均高温阈值在 30 ℃以上(不适宜农作物生长),特别是新疆南部和陕西局部(西安、安康等地)等地可突破 35 ℃(中国气象局规定的"高温天气"标准,不适宜人类生活)。

对西北这些地区的极端高温特征,学者们已开展了一些研究,如:陈磊等[10]利用西北 5 省 90 测站近 50 a 逐日气温资料,分析了西北大范围极端高温事件的大气环流特征,表明出现大范围极端高温事件时,100 hPa 南亚高压(the South Asia High,简称 SH)强度偏强,并北移至西北地区上空,副高(西太平洋副热带高压,the Western Pacific Subtropical High,简称 WH)脊线偏北,而且西北大部分地区均呈现出明显的上层辐合、下层辐散的散度场配置特征。杨建玲等[13]研究表明,1997 年以后宁夏平均高温日数比之前增加了近 4 倍,由此更加证明了西北地区高温天气频次增加的观测事实。赵庆云等[14]分析了甘肃近 50 a 高温特征,并对 4 次极端高温天气过程环流形势进行了研究,认为有利于出现大范围、持续性异常高温天气的环流配置为:100 hPa 南亚高压、300 hPa 暖中心、500 hPa 副热带高压闭合单体控制西北地区上空,且对流层上、下层暖高压中心位置基本一致。

华东地区与西北地区纬度相似,但华东高温特征有鲜明的地域差异,其分布受近地面环境影响更为明显,高温日数在华东东部沿海和北部渤海湾分布较少,而近些年城市化进程的加快,也增加了华东高温事件的发生频次[15]。

与西北高温相比,我国南方高温特征与形成机理也不相同。彭京备等[16]研究了 2013 年我国南方持续性高温天气的成因,认为副高北抬西伸、并持续维持是导致南方罕见高温天气发生的直接原因。其中副高向下扩展至对流层低层,而在对流层高层有

① **收稿日期**:2018-08-16; **修订日期**:2019-01-15
基金项目:国家自然科学基金项目(41627807);陕西省自然科学基础研究计划项目(2014JQ5176);中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室基金项目(2013LASW-B05)资助
作者简介:李博(1979-),男,博士后,主要从事气象灾害天气机理研究. E-mail:doctorlee@xaut.edu.cn

东扩的南亚高压与之呼应,并指出中高纬环流的特殊配置给副高的异常维持提供了有利条件,即:极涡偏向西半球,欧亚地区西风带偏北,且多呈较平直的纬向气流。林建等[17]研究了2003年我国南方高温特征,表明副热带地区的非绝热加热对副高的强度与位置变化有极其重要的影响,并分析了副高偏强偏西的可能原因。

可见,当前学者已对极端高温天气开展了大量研究工作。然而,不同地区的高温特征与形成原因是有差异的[10],而且在不同高温阶段,副高、南亚高压等高温影响系统,以及中高纬环流、热带环流异常的表现特征也是不同的,且相互配置关系也有差异[18-19]。因此,想要完全揭示高温形成原因,尚需不断引入新的个例、开展新的研究工作。从另一方面考虑,西北地区常年干旱,而高温对于当地干旱具有加剧作用,由此严重影响了农作物生长。因此,对我国西北极端高温研究尤为必要。

西安是西北地区极端高温事件发生关键区,2017年发生了极其严重的持续高温天气。本文将通过诊断分析与对比研究(与2014年高温天气),探讨西安高温天气基本特征以及天气学成因,旨在为逐步认清高温天气形成机制提供必要的积累。

1 研究资料与高温天气划分标准

本研究所用资料包括:高温年份6—8月西安理工大学1 min间隔自动气象站观测资料,高温年份6—8月6 h间隔的美国FNL全球分析资料(the National Centers for Environmental Prediction (NCEP) Final (FNL) operational global analysis data)。所用气象站型号为FY-Q1/5型,该站严格执行《QX/T 1-2000_Ⅱ型自动气象站》气象行业规范规定与标准[20],其所测数据已在相关文献[21]中被使用,且被证明是可信的。根据中国气象局规定,结合相关文献,将西安高温标准划分为4个等级(表1),含次高温、高温、极端高温和持续高温,表1还描述了各类高温的主要特征。

表1 西安高温天气划分标准与等级

Tab.1 The classification of high temperature in Xi'an

划分标准	高温等级	主要特征	来源文献
≥30 ℃	次高温	进入暑期,农作物易干涸枯死	[22-24]
≥35 ℃	高温	进入酷暑期,人体难以适应	[13,16,25-26]
≥40 ℃	极端高温	进入高温热浪,可引发人类疾病甚至死亡	[5,27]
连续3 d或以上的高温称作持续高温			[28-29]

2 2017年西安高温分析

2.1 干性高温特征

图1给出了2017年6—8月西安地区逐日气温极大值时间序列。从图1可以看出,6月6日之后(图1a),西安气温整体呈上升趋势,至6月中下旬,已屡次突破35 ℃高温,表明西安已进入酷暑期。进入7月(图1b),西安高温热浪持续不断:全月日最高平均气温达37.3 ℃,其中7月24日最热,达42.9 ℃;全月有28 d气温高于30 ℃,其中25 d气温接近或高于35 ℃;特别是,全月包含了两段持续高温期(40 ℃附近或以上),分别是7月10—14日(持续5 d),7月18—27日(持续10 d)。8月上旬(图1c)也出现了9次35 ℃附近或以上的高温天气,然而,本月的高温天气多波动性而缺乏持续性,且最高温度未突破40 ℃,本月中旬以后气温整体呈下降趋势,漫长的暑期逐渐结束。

2017年西安暑期时间跨度长达3个月(6—8月),尤以7月高温天气最为突出。3个月内共有50 d出现人体难以适应的35 ℃附近或以上的高温酷暑天气,共有17 d出现可引发人类疾病甚至死亡的40 ℃附近或以上的高温热浪天气,尤其值得关注的是,这些极端高温天气持续多日(最长可达10 d之久),远远超过我国关于"持续高温"(表1)的界定日期。

表2给出了西安理工大学气象站观测的高温天气出现时地表温、湿度数据(以7月为例,选取35 ℃以上的高温日)。由表2可见,这些高温日的空气相对湿度均在50%以下,其中,除过4 d(17日、18日、26日、27日),其余高温日相对湿度均在40%以下。由降雨量结合FNL数据综合分析(图略)表明,17—18日、26日以后是2次天气系统过境过程,均带来不同程度的降雨事件,由此造成空气中湿度有所升高。因此可以认为,去除降雨事件影响,西安高温日地表湿度一般低于40%。可见,西安高温是典型的干性高温特征,这有别于我国南方地区的闷湿高温特征[1-2,16-17,28]。

2.2 高温天气日变化特征

2017年西安暑期跨度时间长达3个月(6—8

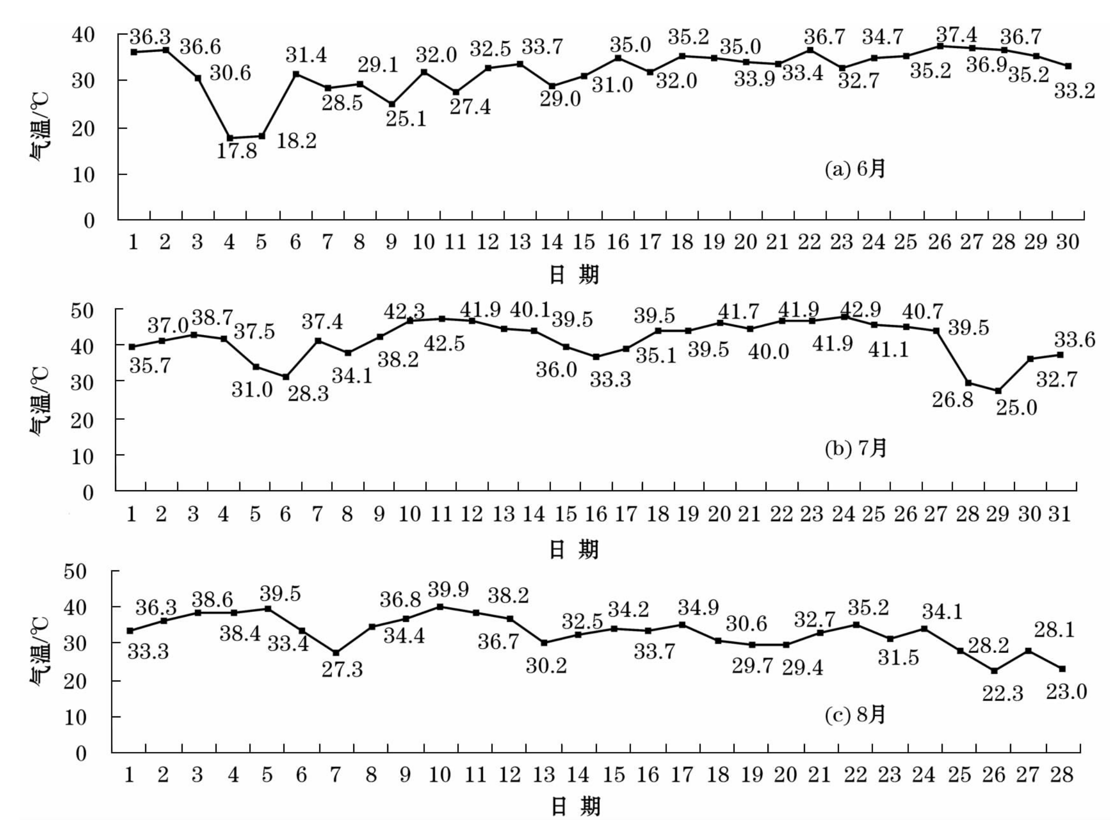


图 1　2017 年 6—8 月西安日气温极大值

Fig. 1　The maximum daily temperature in Xi'an from June to August 2017

表 2　35 ℃以上高温出现时的地表相对湿度

Tab. 2　The surface relative humidity when high temperature (≥35 ℃) occurred

日极大气温时间	气温/℃	相对湿度/%	日极大气温时间	气温/℃	相对湿度/%	日极大气温时间	气温/℃	相对湿度/%
07－01T16:17:06	35.7	38.3	07－12T16:43:06	41.9	28.3	07－21T14:38:06	40.0	35.6
07－02T17:20:06	37.0	32.0	07－13T15:27:06	40.1	35.1	07－22T15:17:06	41.9	38.8
07－03T17:27:06	38.7	26.9	07－14T14:57:06	39.5	34.4	07－23T16:41:06	41.9	32.1
07－04T15:01:06	37.5	37.0	07－15T17:31:06	36.0	39.8	07－24T17:08:06	42.9	23.3
07－07T17:03:06	37.4	28.7	07－17T17:06:06	35.1	47.5	07－25T16:50:06	41.1	31.4
07－09T18:08:06	38.2	27.4	07－18T16:03:06	39.5	40.2	07－26T18:10:06	40.7	41.5
07－10T16:46:06	42.3	17.6	07－19T17:35:06	39.5	34.0	07－27T15:30:06	39.5	45.6
07－11T18:01:06	42.5	20.5	07－20T15:18:06	41.7	34.3			

月),尤以 7 月高温天气最为突出。从 7 月筛选出最热的 20 d,统计西安高温天气日变化特征。所选 20 d 日最高气温均在 35 ℃以上(达 37 ℃以上)。提取每个高温日 30 min 间隔温度数据,通过对 20 d 同时刻的温度数据进行平均,并借助 Matlab 软件将时间点与对应温度值(时间 vs 温度)拟合成非线性曲线[30],由此构建一般意义上的西安高温极值日 24 h 温度变化趋势图(图 2)。由图 2 可见,在温度最高的 7 月,西安地区 24 h 日温度变化呈现出“06:00 前后开始上升、17:00 左右开始下降”的基本趋势,这种特征符合一般的温度日变化规律,主要是受日照影响。

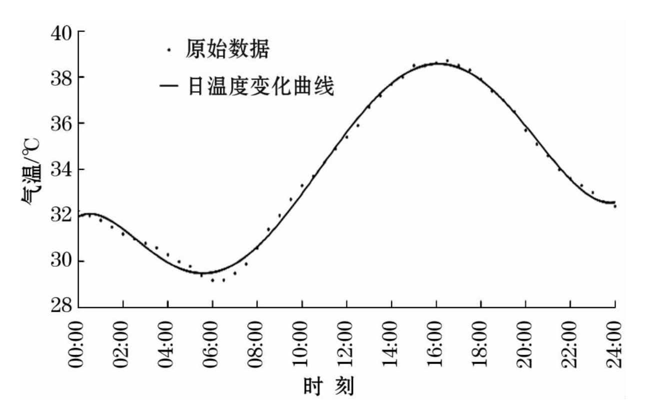


图 2　西安高温极值日 24 h 温度变化

Fig. 2　The 24－hourly variation of high temperature in Xi'an

更细致地分析图 2 可以发现：一方面，06:00 前后随着日出东方，温度几乎以斜率为 1 的直线趋势迅速增长，08:00 即可突破 30 ℃，16:00—17:00 增至日气温最高值，这表明人类白天活动时外界环境温度会急剧上升，并由此引起身体强烈不适；另一方面，在西安高温天气中，昼夜温差较小(9.5 ℃)，即使在夜间温度呈下降趋势的背景下，温度也维持在 28 ℃以上甚至更高，因此夜间温度仍然对人体造成不适。可见，西安高温期间全天 24 h 温度均会对人体引起不适感。这不同于我国西北沙漠地区(如新疆)的高温特征，昼夜温差可超过 20 ℃以上[9-14]，虽然白天酷热，但夜间却体感舒适。

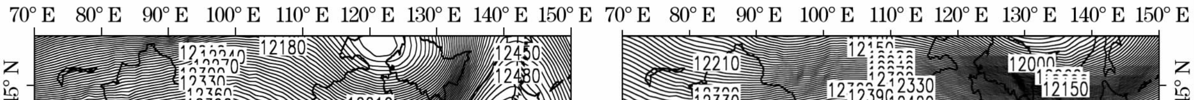
2.3 基本环流特征

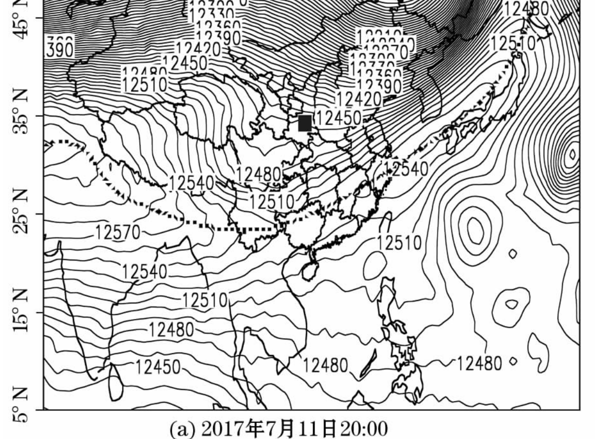
西安高温第一极值日(7 月 24 日)与第二极值日(7 月 11 日)最高温度出现时刻分别为 17:00 (42.9 ℃)与 18:00(42.5 ℃)，选取与之最为接近的 14:00 与 20:00 的 FNL 数据进行分析。

2.3.1 200 hPa 南亚高压分布模态　图 3 给出了 2 个极值高温日的 200 hPa 位势高度场，可以看出西安极值高温出现时的南亚高压分布特征为：11 日(图 3a)，强大的南亚高压覆盖了高原西南侧地区，而高压脊线(长虚线)向东北侧一直伸展，直至朝鲜半岛东部区域，西安位于高原脊线北侧，另一方面，在图 3a 中可以发现，虽然西安位于南亚高压脊线以北，但西安南部的四川盆地上空存在一条高空槽，这种低值系统常会带来降雨，是否不利于西安高温的维持？从图 4a 可见，500 hPa 并没有明显的四川槽，表明槽系统仅存在于 200 hPa 附近，其并未向下延伸至中低层，因此，200 hPa 主要还是南亚高压脊线影响西安地区。24 日(图 3b)，南亚高压持续增强，高压中心(图 3b 中 SH 所示)控制青藏高原，且向东强势扩展，而山东半岛也出现了闭合的高压中心(结合图 4b 可见，这是副高西伸北抬而生成的子高压中心)，南亚高压与副高在东西方向实现贯通，它们的重叠区域完全控制了西安上空，由此造成了西安 2017 年高温第一极值日。

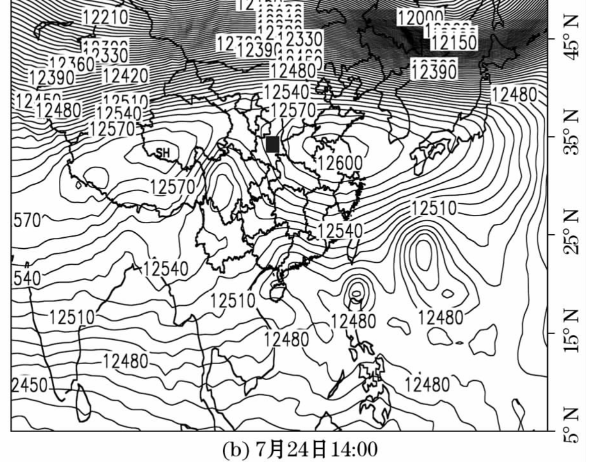
2.3.2 500 hPa 副高分布模态　图 4 给出了 2 个极值高温日的 500 hPa 位势高度场，可以看出副高对西安地区影响尤为明显。在图 4a 中，西安地区受副高脊线(短虚线)控制，属于典型的高温天气控制系统，此时西安(黑色小方块)恰位于副高脊线西北端。在图 4b 中，副高北抬西伸(持续增强)，甚至在我国华东地区形成一闭合的子高压中心。需要强调的是，24 日 200 hPa 山东地区的子高压中心(图 3a)与 500 hPa 华东地区更广的闭合子高压中心均属于副高西伸北抬加强所致，副高(西伸)与南亚高压(东扩)的同时加强，并且 2 个暖性高压系统实现了贯通，非常有利于西安 2017 年高温第一极值日的出现，此时西安 500 hPa 上空直接受副高“588 线”控制(图 4b)。

2.3.3 低层温度特征　为了更细致地弄清西安高温特征，以 2017 年第一高温日与第二高温日为研究对象，逐层研究了大气低层(以地面为例给予说明)西安周边地区的温度水平分布及演变特征。





(a) 2017年7月11日20:00

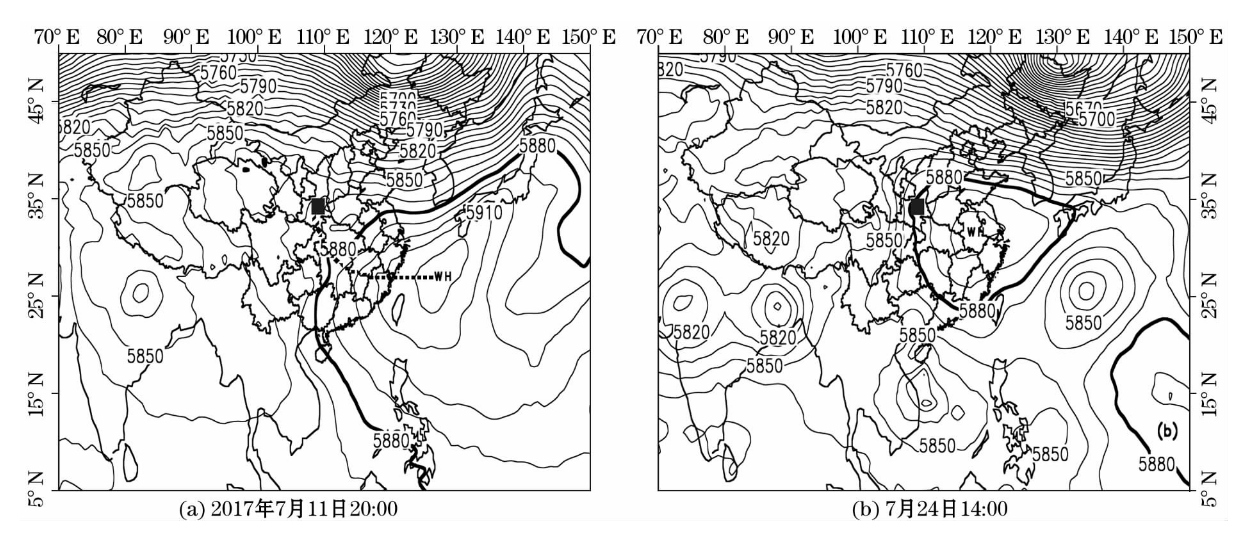


(b) 7月24日14:00

注：图中小方块代表西安，SH 表示南亚高压，下文相同。长虚线表示高压脊线。

图 3　200 hPa 位势高度(等值线，单位 gpm)

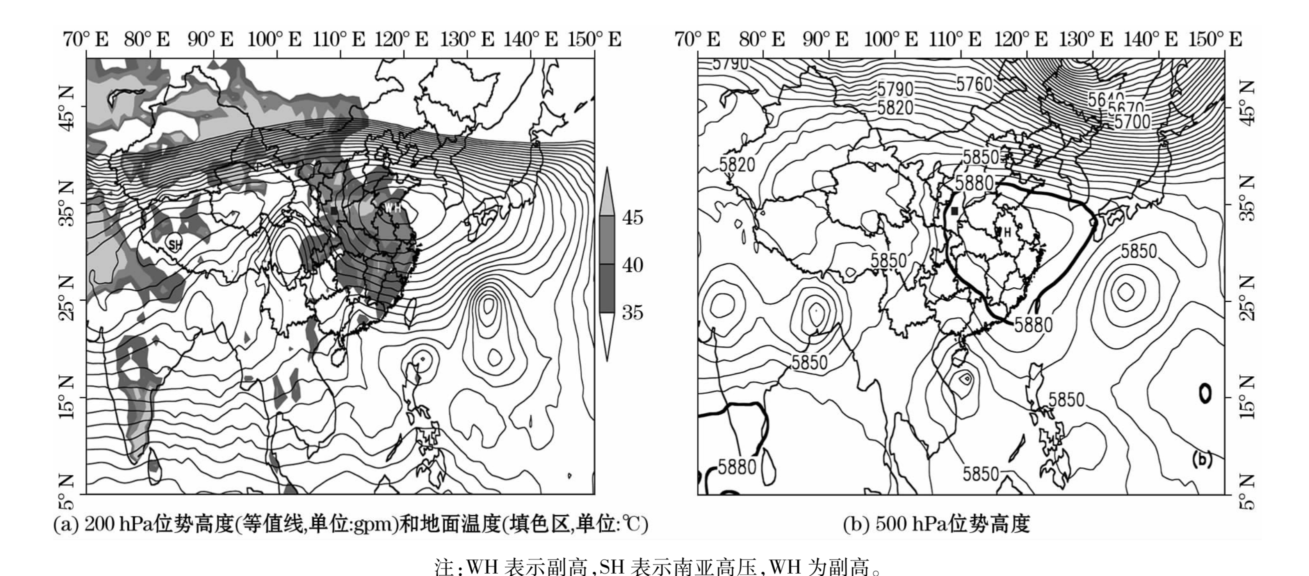
Fig. 3　The 200 hPa geopotential height (isoline, unit gpm)



注:图 a 中短虚线表示副高脊线。WH 表示副高。

图 4　500 hPa 位势高度(等值线,单位 gpm)

Fig. 4　The 500 hPa geopotential height (isoline,unit gpm)



注:WH 表示副高,SH 表示南亚高压,WH 为副高。

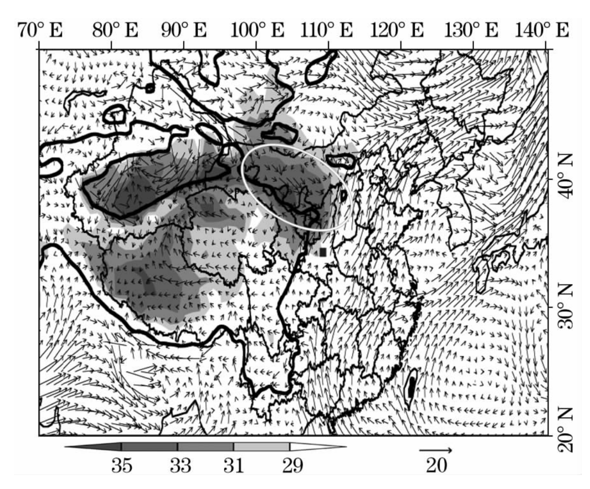
图 5　2017 年 7 月 24 日 14:00 要素

Fig. 5　The elements at 14:00 on July 24, 2017

南亚高压是我国西北地区强大的热源中心(200 hPa 高温极值区域与南亚高压控制范围重合率极高,图略)。由 24 日 14:00 200 hPa 位势高度和地面温度叠加图(图 5a)可见,沿高原北侧与东侧周边,南亚高压热源中心的东移南下扩展(图 5a 填色区)直接影响到了西安地区,即南亚高压对西安地区的高温形成具有直接影响。在图 5a 中,以西安为中心的关中地区发现了一个子高温中心区域(白色填色区),地面高温极值突破 45 ℃,同时子高温中心向东扩展至洛阳 – 郑州等中原一带。结合图 5a 与 500 hPa 位势高度图(图 5b)可以看出,副高与南亚高压在对流层中高层相互贯通,副高“588 线”(图 5b,粗等值线)直接控制西安地区,由此构成了典型的西安高温环流配置形势。

由 850 hPa 温度叠加风场图(图 6)可见,在有利的气流输送(箭头)条件下,南亚高压是影响我国北方地区的重要热源基地,由此在我国北方大部分地区形成“热浪区域”(填色区)。特别是,我国西北地区多沙漠地带,上述热气流在流经西安上游的腾格里沙漠时,温度会进一步上升(填色区),高温热浪东移南下,直逼西安地区(椭圆),这是造成西安高温天气的重要因素。

2.3.4　*要素剖面图分析*　为了更细致地了解西安高温形成的有利条件,通过西安站(109°E,34.25°N)



注:黑色粗等值线表示地形高度 >1 500 m,白色椭圆表示随风东移南下的热气团。

图6　2017 年7 月11 日14:00 850 hPa 温度(填色区,单位℃)和850 hPa 风场(箭头,单位 m · s^{-1})

Fig. 6　The 850 hPa temperature (shaded, unit ℃) and wind filed (arrows, unit m · s^{-1}) at 14:00 on July 11, 2017

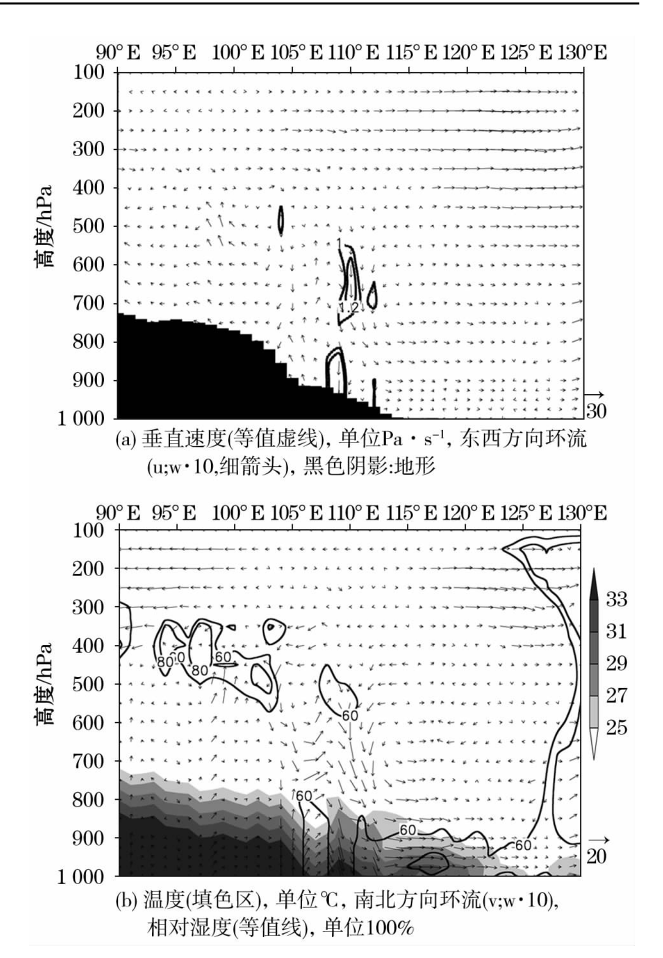


图7　2017 年7 月11 日20:00 沿西安站(34.25°N)要素剖面图

Fig. 7　The cross section along 34.25°N at 20:00 on July 11, 2017

做要素剖面图的方法来研究不同高度要素对西安高温的影响(以东西剖面为例)。

由2017 年7 月11 日20:00 东西向气流垂直剖面图(图7a)可见,从500 hPa 开始往下,西安上空(109°E)出现明显的下沉运动(细箭头),与之匹配的垂直速度达1.2 Pa · s^{-1}(阴影)以上。由南北向气流垂直剖面结合温、湿度分布(图7b)可见,对于南北方向的垂直环流,同样是下沉运动控制西安中低层,下沉运动造成西安上空(800 hPa 以下)温度明显高于临近地区的东西两侧温度,由此出现一个温度峰值(填色区)。进一步分析图7b 可以发现,西安中低空相对湿度均低于60%,属于干性高温,这与第2.1 节的研究结论相吻合。此外,西安东西两侧临近地区的相对湿度大于60%(等值线),说明西安中低空有利的要素配置造成了其温度高于临近区域,即造成了西安比周边地区“明显偏热”的情况。

3　与2014 年高温天气的对比

3.1　不同特征

图8 给出了2014 年7 月中下旬至8 月上旬西安地区的逐日气温极大值时间序列。由图8 可见,以对农作物不适应的30 ℃为参考(表1),2014 年西安地区从7 月12 日开始进入暑期。与此同时,西安也进入了酷暑期,而且这种高温一直持续到8月5 日,中间仅有1 d 最高气温稍低于30 ℃(7 月23日,29 ℃),除此之外,几乎所有日最高气温都在35 ℃附近或以上,高温天气持续24 d 之久。其中7 月21—22 日高温天气最为严重,气象站记录温度突破40 ℃,许多市民自发测量的地表温度突破了70 ℃。

一般而言,西安一年最热的阶段(高温酷暑期)从7 月下旬开始、至8 月上旬结束,当地预报员习惯称之为“七下八上”。通过对比可以发现如下特征:这两年西安均发生了极端高温天气,2014 年西安暑期更多地体现出“七下八上”的标准气候特征,可以视为常规高温年份;而2017 年西安高温提前1 个月,由此导致高温阶段横跨3 个月之久(6—8 月),这是2 a 高温天气的不同之处,2017 年可以视为异常高温年份。

3.2　共同特征

采用与2017 年高温研究相同的方法,对2014 年西安气温最高日的天气形势进行研究,可以发现

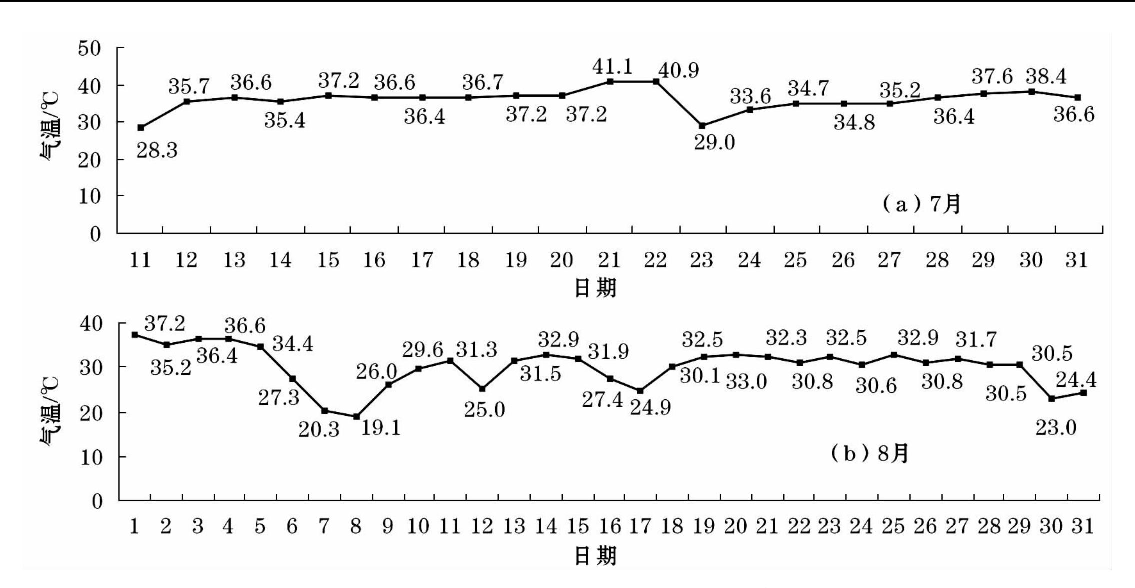
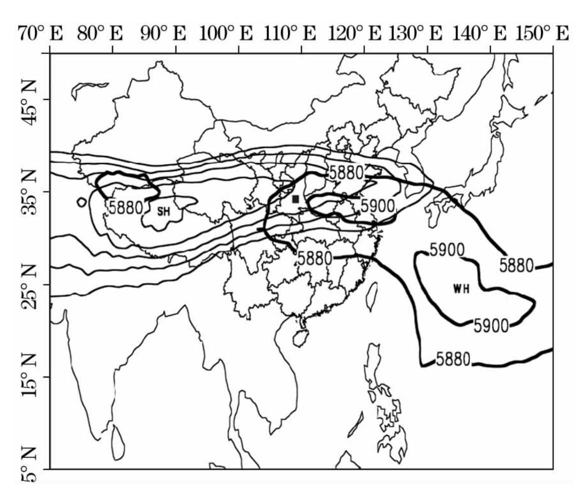


图 8　2014 年 7—8 月西安日气温极大值

Fig. 8　The daily maximum temperature in Xi'an from July to August 2014



注:SH 表示南亚高压,WH 为副高。

图 9　2014 年 7 月 22 日 14:00 200 hPa(细等值线)与 500 hPa(标数值的粗等值线)位势高度(单位 gpm)

Fig. 9　The 200 hPa (thin isoline) and 500 hPa (thick isoline with numbers) geopotential heights at 14:00 on July 22,2014(units gpm)

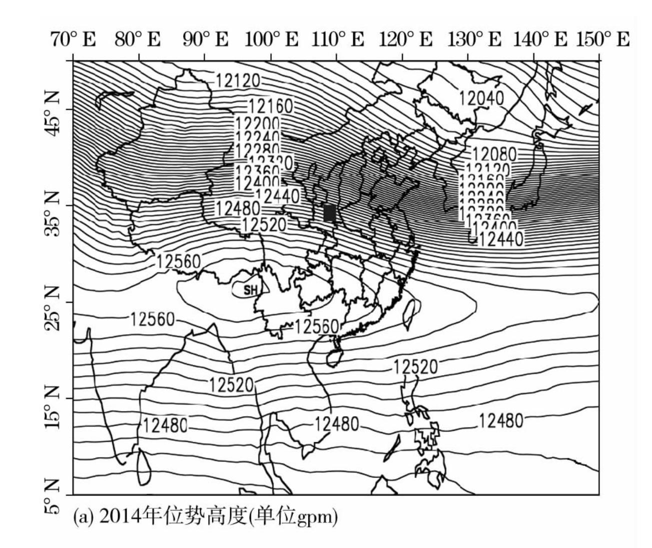
副高与南亚高压同样是造成西安高温天气的主要影响系统。图 9 是 2014 年气温极值日的中高层环流配置情况,由图 9 可见,在 200 hPa 对流层高层,西安(黑色小方块)受南亚高压(细等值线)影响,在 500 hPa 对流层中层,西安受副高"588 线"直接控制(粗等值线),特别是,西安恰是南亚高压与副高重叠区域,这是 2014 年西安高温天气的典型空间环流配置结构。

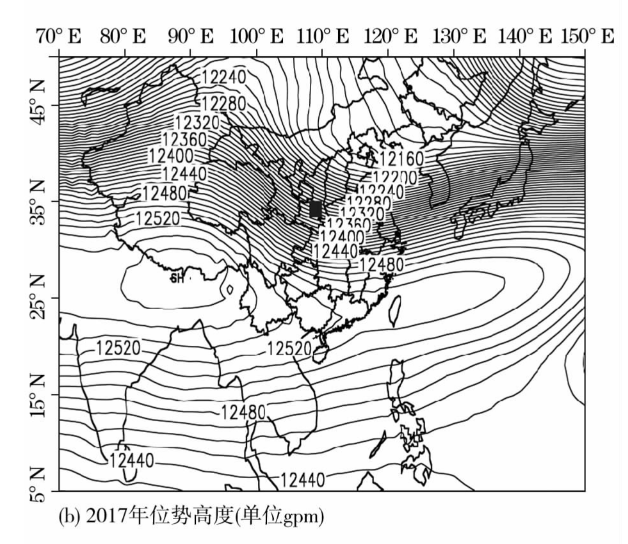
3.3　2017 年西安高温提前发生的原因

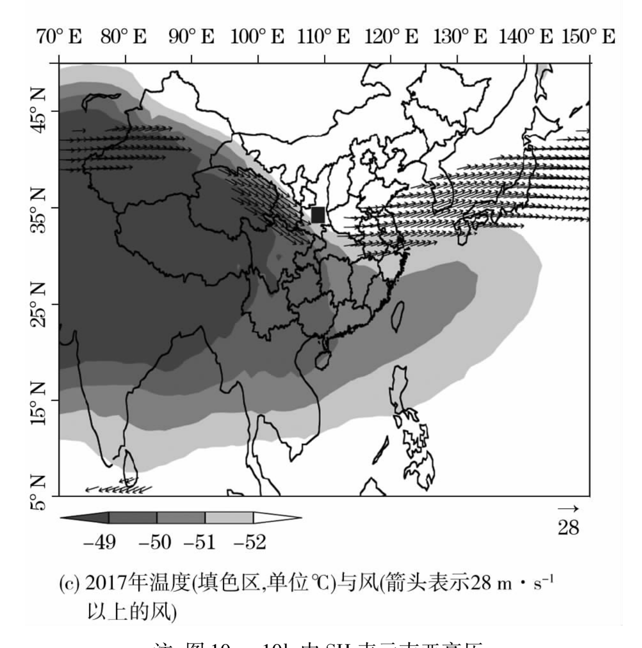
2017 年西安高温提前 1 个月发生,表明 2017 年 6 月下旬西安高温酷暑期已开始;而 2014 年 6 月西安体现出正常气候特征(即为非酷暑期),本年酷暑期开始于常规的 7 月中下旬。因此,可通过对比 2017 年 6 月下旬(视为异常年份)与 2014 年 6 月下旬(视为正常年份)环流差异来分析高温提前发生的原因。

图 10 给出了 2 a 6 月下旬平均 200 hPa 要素场。由图 10a 可见,正常年份,6 月下旬的南亚高压主要"卧居"于高原以南区域(并未爬上高原),其位置偏南偏东,而异常年份(即 2017 年)则表现出不一样的特征:从 6 月下旬开始(图 10b)南亚高压强度增强,开始北抬爬上高原,同时高压势力范围向东扩展明显,其高压脊向东北方向抬升。对比图 10a 与图 10b 还可以发现,南亚高压的增强北抬以及爬上高原,导致了环流经向度增大,这种大的经向度环流特征在 500 hPa 也有明显体现(图略)。这种中高层环流经向度较大的特征,有利于将南亚高压热气团不断输送至西安地区,在图 10c 中,南亚高压北侧存在 26 $m \cdot s^{-1}$ 以上的高空急流,这种强风速在较大经向度环流的有利背景下,将热空气偏南方向输送至西安甚至更下游地区。

图 11 为 2 a 6 月下旬 200 hPa 与 500 hPa 平均位势高度之差,在图 11a 中,高原上空是明显的增压区,这更直观地体现了南亚高压移向高原的特征。至 7 月上、中旬(图 12a ~ 12b),南亚高压不断北抬,并逐渐爬上了高原,这比正常年份提前(图略)。通过逐 6 h 分析(图略)南亚高压活动可以发现,西安







注：图 10a ~ 10b 中 SH 表示南亚高压。

图 10　2017 年与 2014 年 6 月下旬 200 hPa 平均要素对比

Fig. 10　The mean elements at 200 hPa in late-June 2017 and late-June 2014

的高温受南亚高压影响非常明显，南亚高压不断向高原上空爬升的过程就是西安高温持续增强的过程，直至 7 月 18—27 日西安连续 10 d 40 ℃持续高温天气（见第 2.1 节）的发生，南亚高压已彻底爬上/控制青藏高原，并影响着包含西安在内的高原周边地区（图 12c），而此时对流层中层的副高"588 线"（图 12d，粗等值线）也控制着西安地区。南亚高压与副高的这种上下叠加结构构成了"西安持续高温天气"发生与维持的典型环流配置。

从图 11a 中还可发现，南亚高压东侧的我国中原地区是明显的减压区，即 2017 年高层的气压明显低于正常年份，这种减压特征在 500 hPa 也有体现。南亚高压东侧这种对流层中高层的降压现象表明，中原地区的气压降低会导致四周空气不断涌入，形成高层辐合区域。在图 13 中，包含西安在内的中原

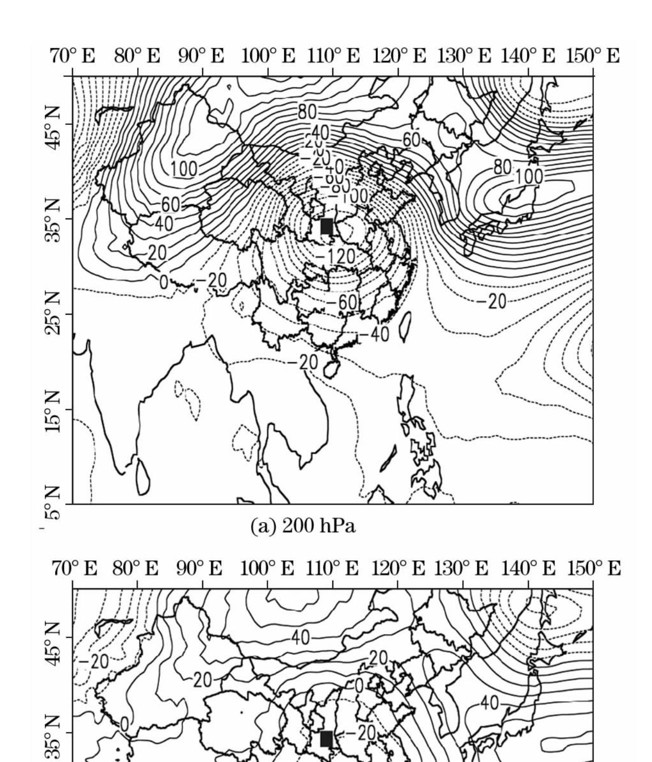


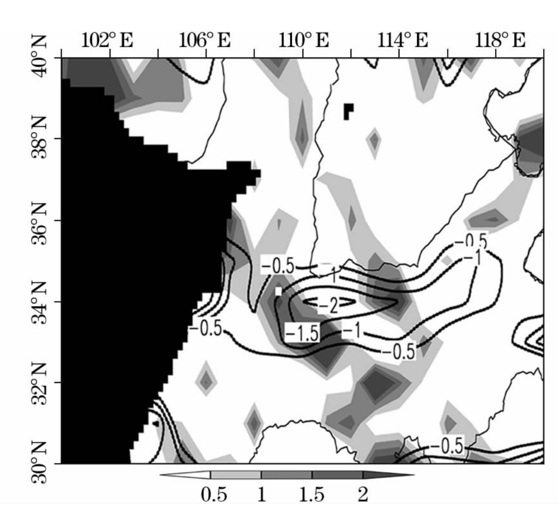
图 11　2017 年与 2014 年 6 月下旬平均位势高度差（单位 gpm）

Fig. 11　The difference of mean geopotential height between late-June 2017 and late-June 2014 (units gpm)

注:SH 表示南亚高压,WH 表示副高。

图 12　2017 年 7 月平均位势高度(单位 gpm)

Fig. 12　The mean geopotential height in July 2017(units gpm)



注:白色小方块表示西安位置,黑色阴影表示地形 >1 500 m。

图 13　2017 年 6 月下旬平均 200 hPa(等值线)与 850 hPa(填色区)散度(单位 10^{-5} s^{-1})

Fig. 13　The mean 200 hPa (isolines) and 850 hPa (shaded) divergences in late-June 2017(units 10^{-5} s^{-1})

地区中高层出现大面积辐合区域(散度负值中心区域,等值线)。同时,中原地区低层出现了明显的辐散区域(填色区),且与高层辐合区域相配合,由此构成了典型的上层辐合、下层辐散的空间配置。这种“上辐合、下辐散”的垂直结构会在中原地区产生持续下沉运动,这是非常有利于高温热浪天气的出现与维持的。

4　结论与讨论

4.1　2017 年与 2014 年西安高温天气基本特征

这两年西安地区均发生了极其严重的高温热浪天气,2017 年共有 17 d 出现接近或大于 40 ℃的高温天气,尤其值得关注的是这些极端高温天气持续多日(最长可达 10 d 之久),远远超过我国关于“持续高温”(表 1)的界定日期。

西安暑期常出现在7月下旬至8月上旬(即“七下八上”),2014年西安高温更符合这种气候意义上高温出现的时间特征,可以视为常规高温年份,而2017年西安高温提前1个月出现,随后持续至8月上旬,这是异常高温年份。

不同于我国南方地区的闷湿高温,西安高温属于干性高温。而且,西安高温昼夜温差较小(9.5 ℃),即使在夜间温度也在28 ℃以上甚至更高,这不同于我国西北沙漠地区的高温特征(昼夜温差超过20 ℃,白天酷热、但夜间却体感舒适)。

4.2 西安高温天气发生的有利条件及高温提前发生的可能原因

西安高温发生的空间典型环流配置为南亚高压与副高同时增强,并在对流层中高层相互贯通,即:对流层中高层的南亚高压增强以后爬上青藏高原,同时南亚高压脊线持续东扩;对流层中层的副高增强以后北抬西伸,同时副高“588线”控制西安,而增强的副高常在我国内陆地区形成闭合的高压单体;作为强大的热源中心,南亚高压是影响我国西北地区的主要热源基地,在较大经向度的有利环流背景下,其为西北地区持续输送热气团,而热气团在东移南下的过程中,途经沙漠地区之后气温会进一步上升,这更增加了下游地区(如西安)的高温强度。

通过对西安测站要素剖面图的分析表明,西安地区对流层中层(500 hPa)以下的要素廓线配置(水汽含量较少、下沉运动明显等)比周边地区更有利于高温天气的形成。因此,造成了西安中低空的温度明显高于邻近区域的温度。

异常年份高温的提前出现主要是由于南亚高压强于正常年份同期的南亚高压,由此南亚高压早于正常年份北抬并提前爬上青藏高原,同时高压脊线东扩北抬,由此造成中高层大气环流经向度增大,从而有利于高空气流沿经向环流将热空气向南向东(即热气团东移南下)输送至西安上空。异常年份包含西安在内的中原地区中高层气压普遍低于正常年份,由此构成“上辐合、下辐散”的结构,导致中原地区维持下沉气流,并在有利的局部台站要素配合下,最终造成特定地区高温的形成与维持。

4.3 关于西安高温预测的对比与讨论

我国西北地区高温天气的共同特征:上层辐合、下层辐散的散度场配置是西安高温出现的重要条件。这与陈磊等[10]对西北地区极端高温事件的研究结论是一致的。同时,包括本研究在内的多数研究[10,13-14]均表明,西北地区的高温天气是南亚高压与副高共同作用的结果,而副高常在我国内陆上空形成闭合的子高压中心(高压单体)。因此,这些可以作为高温预测的关键指标。然而,目前对南亚高压影响西北高温的具体细节仍未厘清,对副高加强后在我国内陆形成的高压单体位置的认同也不太一致,这些还需进一步深入研究。

我国西北地区与南方地区高温天气的不同特征:赵庆云等[14]在研究甘肃极端高温天气过程中发现,对流层上、下层暖高压中心位置基本一致,笔者也证实了这一观点;在此基础之上,笔者认为,这种暖中心实际上为南亚高压暖中心。由此可见,强风速在较大经向度环流背景下,将南亚高压暖中心的热气团向偏东南方向深度输送至下游地区(如西安上空),这是西北高温出现的极为有利条件。然而,我国南方地区高温出现的环流特征似乎有所不同,如彭京备等[16]在研究南方持续高温天气的过程中发现,南方高温的出现大气环流多呈较平直的纬向气流(经向度偏弱),这为副高北推与维持创造了有利条件。可见,尽管我国不同地区高温出现均会涉及南亚高压与副高的相互作用,但高温出现的环流特征细节或许仍有差异,这还有待于进一步研究。

参考文献(References):

[1] 董婷,孟令奎,张文. 1961—2012年我国干旱演变特征[J]. 干旱区研究,2018,35(1):96-106. [Dong Ting, Meng Lingkui, Zhang Wen. Evolution of drought in China during the period of 1961-2012[J]. Aird Zone Research,2018,35(1):96-106.]

[2] 王亚伟,翟盘茂,田华. 近40年南方高温变化特征与2003年的高温事件[J]. 气象,2006,32(10):27-33. [Wang Yawei, Zhai Panmao, Tian Hua. Extreme high temperatures in Southern China in 2003 under the background of climate change[J]. Meteorological Monthly,2006,32(10):27-33.]

[3] 卫捷,孙建华. 华北地区夏季高温闷热天气特征的分析[J]. 气候与环境研究,2007,12(3):453-463. [Wei Jie, Sun Jianhua. The analysis of summer heat wave and sultry weather in North China[J]. Climatic and Environmental Research,2007,12(3):453-463.]

[4] 林昕,管兆勇. 中国华东地区夏季高温的时空特征和年际变化[J]. 南京气象学院学报,2008,31(1):1-9. [Lin Xin, Guan Zhaoyong. Temporal spatial characters and interannual variations of summer high temperature in East China[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2008,31(1):1-9.]

[5] 丁婷,钱维宏. 中国热浪前期信号及其模式预报[J]. 地球物理学报,2012,55(5):1 472-1 486. [Ding Ting, Qian Weihong. Sta-

tistical characteristics of heat wave precursors in China and model prediction〔J〕. Chinese Journal of Geophysics,2012,55(5):1 472 –1 486.〕

〔6〕 王咏梅,张红雨,郭雪. 山西省近 48 a 高温和强降水极端事件变化特征〔J〕. 干旱区研究,2012,29(2):289 – 295.〔Wang Yongmei,Zhang Hongyu,Guo Xue. Study on the change of extreme events of high-temperature and heavy-precipitation in Shanxi province in recent 48 years〔J〕. Aird Zone Research,2012,29(2):289 –295.〕

〔7〕 李玲萍,李岩瑛,钱莉,等. 河西走廊东部高温天气成因分析及预报研究〔J〕. 干旱区研究,2010,27(1):142 – 147.〔Li Lingping,Li Yanying,Qian Li,et al. Study on formation mechanism and forecast of high temperature in the Hexi Corridor〔J〕. Aird Zone Research,2010,27(1):142 –147.〕

〔8〕 杨莲梅,关学锋,张迎新. 亚洲中部干旱区降水异常的大气环流特征〔J〕. 干旱区研究,2018,35(2):249 – 259.〔Yang Lianmei,Guan Xuefeng,Zhang Yingxin. Atmospheric circulation characteristics of precipitation anomaly in arid regions in Central Asia〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(2):249 –259.〕

〔9〕 辛渝,陈洪武,李元鹏,等. 新疆北部高温日数的时空变化特征及多尺度突变分析〔J〕. 干旱区研究,2008,25(3):438 –446.〔Xin Yu,Chen Hongwu,Li Yuanpeng,et al. Analysis on the spatiotemporal change and multi-scale abrupt change of high temperature days in North Xinjinag〔J〕. Aird Zone Research,2008,25(3):438 –446.〕

〔10〕 陈磊,王式功,尚可政,等. 中国西北地区大范围极端高温事件的大气环流异常特征〔J〕. 中国沙漠,2011,31(4):1 052 – 1 058.〔Chen Lei,Wang Shigong,Shang Kezheng,et al. Atmospheric circulation anomalies of large-scale extreme high temperature events in Northwest China〔J〕. Journal of Desert Research,2011,31(4):1 052 –1 058.〕

〔11〕 陈少勇,王劲松,郭俊庭. 中国西北地区 1961—2009 年极端高温事件的演变特征〔J〕. 自然资源学报,2012,27(5):832 – 844.〔Chen Shaoyong,Wang Jinsong,Guo Junting. Evolution characteristics of the extreme high temperature event in Northwest China from 1961 to 2009〔J〕. Journal of Nautral Resources,2012,27(5):832 –844.〕

〔12〕 杨宝玲,杨婧,陈彦虎,等. 西北地区夏季极端高温异常特征及其成因〔J〕. 农业科学研究,2014,35(1):20 –28.〔Yang Baoling,Yang Jing,Chen Yanhu,et al. The characteristics and causes of extremely high temperature events in summer in Norhthwest China〔J〕. Journal of Agricultural Sciences,2014,35(1):20 –28.〕

〔13〕 杨建玲,冯建民,闫军,等. 宁夏高温气候特征及其大气环流异常分析〔J〕. 中国沙漠,2012,32(5):1 417 –1 425.〔Yang Jianling,Feng Jianmin,Yan Jun,et al. Analysis of high temperature climatic characteristics in Ningxia and atmospheric circulation anomaly〔J〕. Journal of Desert Research,2012,32(5):1 417 –1 425.〕

〔14〕 赵庆云,赵红岩,王勇. 甘肃省夏季异常高温及其环流特征分析〔J〕. 中国沙漠,2007,27(4):639 –643.〔Zhao Qingyun,Zhao Hongyan,Wang Yong. Analyses on extreme high temperature and circulation characteristics in summer of Gansu〔J〕. Journal of Desert Research,2007,27(4):639 –643.〕

〔15〕 史军,丁一汇,崔林丽. 华东极端高温气候特征及成因分析〔J〕. 大气科学,2009,33(2):347 –358.〔Shi Jun,Ding Yihui,Cui Linli. Climatic characteristics of extreme maximum temperature in East China and its causes〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2009,33(2):347 –358.〕

〔16〕 彭京备,刘舸,孙淑清. 2013 年我国南方持续性高温天气及副热带高压异常维持的成因分析〔J〕. 大气科学,2016,40(5):897 –906.〔Peng Jingbei,Liu Ke,Sun Shuqing. An analysis on the formation of the heat wave in Southern China and its relation to the anomalous Western Pacific subtropical high in the summer of 2013〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2016,40(5):897 –906.〕

〔17〕 林建,毕宝贵,何金海. 2003 年 7 月西太平洋副热带高压变异及中国南方高温形成机理研究〔J〕. 大气科学,2005,29(4):594 – 599.〔Lin Jian,Bi Baogui,He Jinhai. Physical mechanism responsible for Western Pacific subtropical high variation and hot wave in Southern China in July 2003〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2005,29(4):594 –599.〕

〔18〕 陶诗言,朱福康. 夏季亚洲南部 100 毫巴流型的变化及其与西太平洋副热带高压进退的关系〔J〕. 气象学报,1964,34(4):385 –396.〔Tao Shiyan,Zhu Fukang. The 100 mb flow patterns in Southern Asia in summer and its relation to the advance and retreat of the Western Pacific subtropical anticyclone over the far east〔J〕. Acta Meteorologica Sinica,1964,34(4):385 –396.〕

〔19〕 黄荣辉,孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状态及其上空的对流活动对东亚夏季气候异常的影响〔J〕. 大气科学,1994,18(2):141 – 151.〔Huang Ronghui,Sun Fengying. Impacts of the thermal state and the convective activities in the tropical western warm pool on the summer climate anomalied in East Asia〔J〕. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,1994,18(2):141 –151.〕

〔20〕 中华人民共和国气象行业标准. QX/T 1 –2000 Ⅱ 型自动气象站〔S〕. 北京:中国标准出版社,2000:1 – 14.〔The National standards of China. The Auto-Meteorological Station of QX/T 1 –2000 Ⅱ〔S〕. Beijing:China Standards Press,2000:1 –14.〕

〔21〕 李博,王楠,姜明,等. 陕西一类"东高西低型"暴雨的基本特征〔J〕. 高原气象,2018,37(4):981 – 994.〔Li Bo,Wang Nan,Jiang Ming,et al. The features of a type of west-low and east-high heavy rainfall in Shaanxi Province〔J〕. Plateau Meteorology,2018,37(4):981 –994.〕

〔22〕 于芳健,余克勤,李璇,等. 朝阳高温天气时空变化特征研究〔J〕. 农业灾害研究,2017(7):56 – 57.〔Yu Fangjian,Yu Keqin,Li Xuan,et al. Research on temporal and spatial variation characteristics of high temperature weather in Chaoyang〔J〕. Journal of Agricultural Catastrophology,2017(7):56 –57.〕

〔23〕 吴金栋,王石立,张建敏. 未来气候变化对中国东北地区水热条件影响的数值模拟研究〔J〕. 资源科学,2000,22(6):36 – 42.〔Wu Jindong,Wang Shili,Zhang Jianmin. A numerical simulation of the impacts of climate change on water and thermal re-

sources in Northeast China〔J〕. Resources Science,2000,22(6):36 – 42.〕

〔24〕殷显辉,马秀梅. 海东市一次高温天气过程预报及服务农牧业思考〔J〕. 青海草业,2016,25(2):32 – 36.〔Yin Xianhui,Ma Xiumei. Forecast service thinking of a high temperature weather event in Eastern city of Qinghai〔J〕. Qinghai Prataculture,2016,25(2):32 – 36.〕

〔25〕陈敏,耿福海,马雷鸣,等. 近138 年上海地区高温热浪事件分析〔J〕. 高原气象,2013,32(2):597 – 607.〔Chen Min,Geng Fuhai,Ma Leiming,et al. Analyses on the heat wave events in Shanghai in recent 138 years〔J〕. Plateau Meteorology,2013,32(2):597 – 607.〕

〔26〕王跃男,何金海,姜爱军. 江苏省夏季持续高温集中程度的气候特征研究〔J〕. 热带气象学报,2009,25(1):97 – 102.〔Wang Yuenan,He Jinhai,Jiang Aijun. A study on the climatic features of the summer persistence high temperature concentration in Jiangsu Province〔J〕. Journal of Tropical Meteorology,2009,25(1):97 – 102.〕

〔27〕史印山,谷永利,林艳. 京津冀高温天气的时空分布及环流特征分析〔J〕. 气象,2009,35(6):63 – 69.〔Shi Yinshan,Gu Yongli,Lin Yang. Analysis of the temporal and spatial distribution and circulation features of high temperatures in Beijing, Tianjin and Hebei〔J〕. Meteorological Monthly,2009,35(6):63 – 69.〕

〔28〕唐恬,金荣花,彭相瑜,等. 2013 年夏季我国南方区域性高温天气的极端性分析〔J〕. 气象,2014,40(10):1 207 – 1 215.〔Tang Tian,Jin Ronghua,Peng Xiangyu,et al. Analysis on extremely high temperature over southern China in summer 2013〔J〕. Meteorological Monthly,2014,40(10):1 207 – 1 215.〕

〔29〕张旭阳,宁海文,杜继稳,等. 西安城市热岛效应对夏季高温的影响〔J〕. 干旱区资源与环境,2010,24(1):95 – 101.〔Zhang Xuyang,Ning Haiwen,Du Jiwen,et al. The impact of urban heat island effect on high temperature in summer in Xi'an〔J〕. Journal of Arid Land Resources and Environment,2010,24(1):95 – 101.〕

〔30〕李三鸣,张涛,毕开顺,等. 非线性曲线拟合确定恒温 – 变温动力学参数〔J〕. 药学学报,1987,22(11):858 – 863.〔Li Sanming,Zhang Tao,Bi Kaishun,et al. Determination of isothermal-nonisothermal kinetic parameters by nonlinear curve fitting〔J〕. Acta Pharmaceutica Sinica,1987,22(11):858 – 863.〕

Extremely High Temperature and Circulation Features in Xi'an in 2017 and 2014

LI Bo[1,2], CHEN Ting[1], WANG Nan[3], HUA Deng-xin[1], WANG Qian[1]

(1. *School of Mechanical and Precision Instrument Engineering*, *Xi'an University of Technology*, *Xi'an* 710048, *Shaanxi*, *China*;
2. *State Key Laboratory of Severe Weather*, *Chinese Academy of Meteorological Sciences*, *Beijing* 100081, *China*;
3. *Shaanxi Meteorological Observatory*, *Xi'an* 710016, *Shaanxi*, *China*)

Abstract: A comparative study on the basic features and causes of high temperature in Xi'an during the period from 2017 to 2014 was carried out based on the observed and analyzed data from the meteorological station and the National Center for Environmental Prediction. The main results were as follows: ① High temperature occurred with a conventional modal in Xi'an in 2014. However, high temperature occurred one month in advance (unconventional) in 2017, and this was mainly because that the South Asia High (SH) was stronger than that in the same period in conventional years; ② It was dry high temperature in Xi'an and different from the muggy high temperature in south China. Moreover, the diurnal-nocturnal temperature variation was low; ③ The typical circulation features related to the high temperature in Xi'an were described in detail, including mainly the simultaneously enhanced SH and Western Pacific Subtropical High (WH); ④ SH was an important heat source affecting northwest China according to this study. Under the favorable conditions of deeply meridional circulation, heat air was transported southeastward to the downstream region (e. g. Xi'an) by strong wind; ⑤ With the configuration of up-convergence and down-divergence, sinking airflow was clearly found under the 500 hPa level, and other meteorological factors were also favorable for the occurrence of high temperature in Xi'an.

Key words: extremely high temperature; circulation features; South Asia High (SH); Western Pacific Subtropical High (WH); Xi'an